

文章编号: 1001 - 893X(2012)06 - 0988 - 04

UHF 大功率功放模块设计的新方法^{*}

刘继林

(中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

摘要:针对 OFDM 信号对功放高峰值功率的要求, 提出了工作在 220 ~ 400 MHz 的大功率功放模块设计的新方法。该方法结合 ADS 软件仿真分析, 按仿真模型用 QFX86 射频同轴电缆自制了功率分配/合成网络, 用该网络设计了一款输出峰值功率不小于 300 W 的功放模块。该模块已成功应用于某电台中且工作良好。

关键词: OFDM; 大功率功放; 功率分配/合成网络; 温度补偿电路; ADS 仿真

中图分类号: TN722 **文献标志码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001 - 893x.2012.06.032

A Novel Design Method for UHF High Power Amplifier Module

LIU Ji-lin

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: According to the requirement of high peak power of Power Amplifier (PA) for OFDM signal, a novel design method for high power amplifier operating at 220 ~ 400 MHz is proposed. Based on the simulation analysis by ADS software, QFX86 Radio Frequency (RF) coaxial cable is used to build up a power distribution/ synthesis network and this network is employed to develop a PA module with peak power no less than 300 W. This module has been successfully applied in a radio set and it performs well.

Key words: OFDM; high power amplifier; power distribution/synthesis network; temperature compensation circuit; ADS simulation

1 引言

在无线通信系统中, 功放模块是必不可少的一个重要组成部分。随着 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)^[1-2] 技术的快速发展, 功放模块的发展也面临着巨大挑战。因为, OFDM 调制信号存在很高的峰均比, 在某个时刻, 多个子载波以同一个方向相加, 就会产生很大的峰值, 从而要求功放模块内的功率放大器具有很大的线性动态区域。否则, 当信号峰值进入放大器的饱和区域时, 就会使接收信号产生严重畸变, 产生子载波之间的互调干扰和带外辐射, 破坏子载波之间的正交性, 恶化系统性

能。实验证明, 满足系统通信要求误码率条件下的峰均比为 5 ~ 6 dB, 按 60 W 载波设计, 功放模块的线性动态功率至少为 240 W。在现有工艺水平下, 国外元器件生产商 (Polyfet 公司、M/A - COM 公司等) 生产的 UHF 频段的功率管功率输出等级为 150 W 左右, 所以, 功放模块必须采用功率合成才能满足大于 240 W 的功率要求。本文介绍的方案分别以金属栅 RF 硅 FET 作为驱动级和末级放大, 采用功率分配/合成网络和传输线变压器阻抗变换网络相结合的方法, 结合 ADS 对合成网络仿真, 研制出了用于 220 ~ 400 MHz 连续波输出功率大于 300 W 的高功率功放模块。

^{*} 收稿日期: 2011 - 11 - 23; 修回日期: 2012 - 03 - 07

2 设计方案

本方案功放模块的原理框图见图 1。由于篇幅所限,本文只详细介绍功率放大部分的设计和 ADS 仿真,对功放的其他电路(如滤波器、耦合器、控制保护电路等)就不作介绍了。

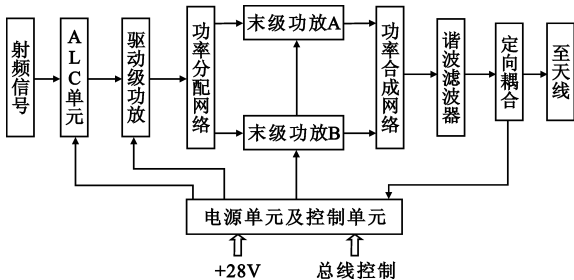


图 1 功放模块原理框图

Fig.1 Functional block diagram of PA module

该功放工作的状态为连续波,功率放大部分的主要技术指标如下:频率范围为 220 ~ 400 MHz,激励电平为 33 dBm(驱动级的输入电平),输出功率大于等于 300 W(54.8 dBm)。

功率放大部分设计的关键在于静态工作点温度补偿电路和功率分配/合成网络,而功率分配/合成网络又是整个功放模块的核心。本文主要从这两个方面加以介绍和分析。

按技术指标要求,功率放大部分的信道增益约 22 dB,可分两级放大完成,分配/合成网络用同轴电缆绕制,增益分配:驱动级 13 dB,末级 10 dB,分配/合成网络的损耗约为 0.5 dB。

2.1 驱动级

驱动级选用美国 Polyfet 公司的大功率 VDMOS 管 SQ701, SQ701 最大栅极电压 20 V,漏极击穿电压 70 V,最大漏极电流 6.5 A,在 200 ~ 400 MHz 功率增益不小于 13 dB,输入功率 33 dBm,输出功率可达 40 W 以上。电路采用平衡/不平衡变换网络和 4:1 的阻抗变换网络的匹配方式, I_{DQ} 设置为 1 A。

2.2 分配/合成网络

分配/合成网络采用的是用同轴电缆绕制的宽带同相分配/合成网络,每根同轴线的长度相等,都小于 $\lambda/4$ 。

2.3 末级

末级选用美国 M/A - COM 公司的 N 沟道增强型大功率 MOSFET 管 UF28150J,最大栅极电压 20 V,漏极击穿电压 60 V,最大漏极电流 28 A,在 220 ~ 400 MHz 功率增益不小于 10 dB,输入功率 43 dBm,输出功率可达 150 W 以上。电路采用平衡/不平衡变换网络和 4:1 的阻抗变换网络的匹配方式, I_{DQ} 设置为 1 A。

3 温度补偿电路分析

驱动级和末级选用的功率放大管均为 FET 管, FET 器件对工作温度是很敏感的,其特性有强烈的温度依赖性^[3-5]。工作在 AB 类,在工作点附近具有正的温度特性, I_{DQ} 变化会影响系统的增益、效率和线性等指标,其中又以线性影响最大。因此,在工作中维持功率管(特别是大功率管) I_{DQ} 恒定是功放设计的关键点之一。设计方案中驱动级和末级的直流偏置电路包含温度补偿电路,它利用 BJT 管发射结正向压降 V_{be} 具有负的温度系数工作原理,在饱和工作状态,对于硅管 $dV_{be}/dT = -2.0\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ 。利用发射结的这个特性可实现温度补偿,电路如图 2 所示。

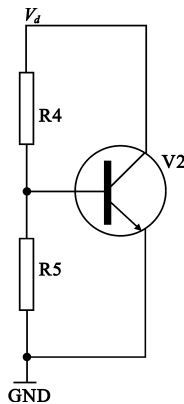


图 2 温度补偿电路

Fig.2 Temperature compensation circuit

当 $I_{R4} \gg I_B$ 时(计算时可以取 10 倍关系),对于该电路有

$$V_d = \left(1 + \frac{R_4}{R_5}\right) V_{be}$$

当 $R_5 = 2.2\text{ k}\Omega$, $R_4 = 1.5\text{ k}\Omega$ 时, V_d 的电位为

$$V_d = \left(1 + \frac{1.5}{2.2}\right) \times 0.7 = 1.18\text{ V}$$

当温度变化 1℃时, V_d 的变化量为

$$\Delta V_d = \left(1 + \frac{R_4}{R_5}\right) \Delta V_{be} = \left(1 + \frac{1.5}{2.2}\right) \times (-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}) = -3.362 \text{ mV}/^\circ\text{C}$$

约等于 LDMOS 管的温度变化系数, 试验验证 $R_4 = 1.5 \text{ k}\Omega$ 、 $R_5 = 2.2 \text{ k}\Omega$ 时可以得到比较稳定的静态工作电流。

4 ADS 仿真分析

4.1 仿真模型

在仿真过程中, 先后设计了几种不同形式的分配/合成网络模型, 有同相的和反相的。以本方案采用的同相分配/合成网络性能最佳, 仿真模型见图 3。由于篇幅有限, 此处对这种网络不作理论分析, 仅给出仿真模型供参考。

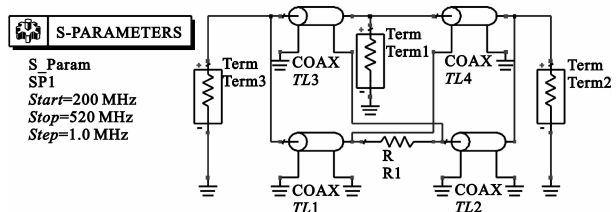


图 3 同相分配/合成网络仿真模型

Fig.3 Same - phase distribution/synthesis network simulation model

4.2 ADS 仿真分析

按照仿真模型, 对网络中的变量 $TL1$ 、 $TL2$ 、 $TL3$ 和 $TL4$ 进行了优化仿真分析, 参数设置: $Start = 200 \text{ MHz}$, $Stop = 520 \text{ MHz}$, $Step = 1 \text{ MHz}$, $Tem2 = Tem3 = 25 \text{ }\Omega$, $Tem1 = 50 \text{ }\Omega$; $R1 = 50 \text{ }\Omega$ 。

变量优化结果: $TL1 = TL2 = TL3 = TL4 = 85 \text{ mm}$ (特性阻抗 $50 \text{ }\Omega$), S 参数仿真结果见图 4~6。

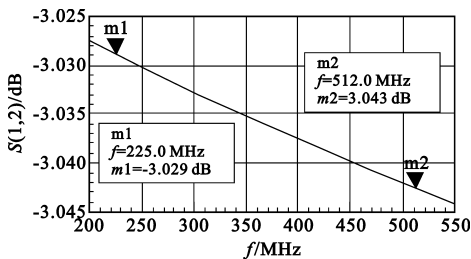
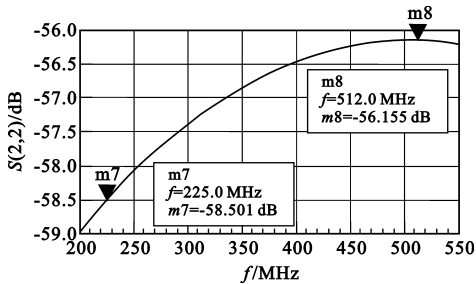
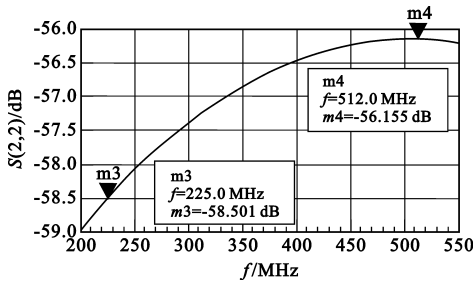


图 4 传输特性

Fig.4 Transmission characteristics



(a)2 端口



(b)1 端口

图 5 反射特性

Fig.5 Reflection Characteristics

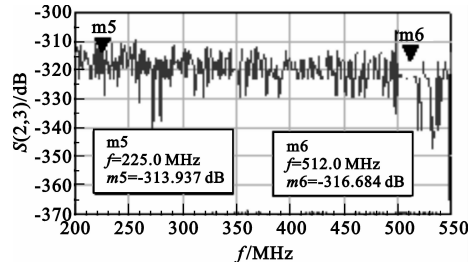


图 6 隔离特性

Fig.6 Isolation characteristics

仿真结果表明, 该种网络具有插入损耗小、反射小和隔离度高等优点。按该模型制作的同相分配/合成网络, 实际性能接近仿真结果。

5 设计结果

按 ADS 仿真模型, 用 QFX86 射频同轴电缆自制了分配/合成网络; 用美国 M/A - COM 公司的 UF28150J 在聚四氟乙烯板材 (板厚 1.6 mm) 上完成功率合成, 设计了符合要求的功率放大模块, 在 $-55^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$ 的温度范围内能稳定工作。测试条件: 驱动级激励电平 33 dBm , 供电电源 $+28 \text{ V}$, 室温 25°C 。饱和功率测试结果见表 1。由表 1 可知, 在 $220 \sim 400 \text{ MHz}$ 的频率范围内, 功率合成部分的最小输出功率为 325 W (55.1 dBm), 满足大于 300 W (54.8 dBm) 的

预期指标要求。

表 1 输出功率测试结果

Table 1 Result of output power test

频率/MHz	P_O/W	I_O/A
220	440	29.6
240	410	27.8
260	390	26.5
280	360	24.5
300	325	22.8
320	330	22.7
340	340	23.0
360	350	24.0
380	350	23.8
400	325	22.4

6 结束语

通过对合成网络的模型设计和 ADS 仿真分析,自制了功率合成的关键部件功率分配/合成网络,用该网络成功研制出一款大功率功放模块,弥补了大功率功放模块设计的空白。用该网络设计的功放模块具有频带宽、功率高、性能稳定、温度适应范围宽等特点,能够满足电台在 OFDM 通信体制下 60 W 载波功率的使用需求。

参考文献:

[1] 尹长川,罗涛,乐光新.多载波宽带无线通信技术[M].北京:北京邮电大学出版社,2004.

YIN Chang - chuan,LUO Tao,LE Guang - xin. Multi - carrier Wireless Communication Technology[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommuication Press, 2004. (in Chinese)

[2] 陈邦媛.射频通信电路[M].北京:科学出版社,2002.
CHEN Bang - yuan. RF Communication Circuit [M]. Beijing: Science Press,2002. (in Chinese)

[3] 张玉兴,赵宏飞.射频与微波功率放大器设计[M].北京:电子工业出版社,2006.
ZHANG Yu - xing, ZHAO Hong - fei. RF and Microwave Power Amplifier Design [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry,2006. (in Chinese)

[4] 赵夕彬.射频宽带大功率放大器模块[J].半导体技术,2003,28(2):65 - 67.
ZHAO Xi - bin. RF wide - band high - power amplifier module[J]. Semiconductor Technology, 2003, 28 (2): 65 - 67. (in Chinese)

[5] 刘勇,张彬,徐峰.宽带大功率放大器技术性能研究[J].无线通信技术,2002(3):42 - 46.
LIU Yong, ZHANG Bin, XU Feng. Research on technical performance of broadband power amplifier[J]. Wireless Communication Technology,2002(3):42 - 46. (in Chinese)

作者简介:

刘继林(1977—),男,安徽淮北人,2001 年于兰州大学获理学学士学位,现为工程师,主要从事通信电台 U/V 功放研究和设计工作。

LIU Ji - lin was born in HuaiBei, Anhui Province, in 1977. He received the B. S. degree from Lanzhou University in 2001. He is now an engineer. His research concerns the development and design of U/V power amplifier of radio.

Email: liujl@swiet.com.cn